

СИСТЕМА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ДВОЙНОГО ДУГООБРАЗОВАНИЯ

Эффективным средством борьбы с процессом двойного дугообразования, возникающим в электродуговых плазмотронах (ЭДП) на переходах «катод-сопло» или «сопло-анод» и приводящим к преждевременному выходу из строя технологической установки, является газодинамический метод [1 - 3], основанный на дискретном увеличении потока плазмообразующего газа в функции проводимости контролируемых переходов ЭДП. Однако, однозонные системы борьбы с шунтирующими дугами в основном рассчитаны на их подавление, а не на предупреждение непосредственно процесса двойного дугообразования, вследствие чего эффективность газодинамического метода используется не в полной мере. Дискретное же изменение потока плазмообразующего газа на ранней стадии зарождения шунтирующих дуг приводит к резкому увеличению его расхода.

Одним из средств достижения компромисса между надежностью работы ЭДП и снижением результирующего расхода плазмообразующего газа является многозонный метод управления потоком аргона [4, 5], когда скорость истечения плазмообразующего газа дискретно возрастает при переходе из одной зоны в другую по мере роста проводимости перехода «катод-сопло», достигая максимального уровня лишь в критической ситуации при которой образуется шунтирующая дуга.

ЭДП (рис. 1) содержит катод, анод, сопло, регулируемый источник электропитания ИП, источник плазмообразующего газа (аргона) Ar, систему управления СУ на основе газоредуктора и электроклапана Кл.1, осуществляющую поддержание потока аргона на заданном (номинальном) уровне и группу электроклапанов Кл.2 - Кл.п, включение которых приводит к дискретному увеличению на заранее заданную величину потока аргона в выходной газомангистрале и скорости его истечения на переходе «катод - сопло» плазмотрона. Сопротивление R_{KC} последнего контролируется с помощью датчика проводимости ДП [6, 7], выходной аналоговый сигнал $Y_{KC}(t)$ которого возрастает по мере роста проводимости перехода «катод - сопло». ДП имеет высокое входное сопротивление по постоянному току, что исключает его влияние на процессы, протекающие на контролируемом переходе плазмотрона.

Режим многозонного регулирования потока аргона реализуется с помощью многозонного интегрирующего развешивающего преобразователя МРП [8, 9] (рис. 1).

В него входят сумматоры $\Sigma 1, \Sigma 2$, интегратор И с постоянной времени $T_{\text{и}}$ и группа релейных элементов РЭ1 - РЭп, где $n \geq 3$ - нечетное число, причем для получения требуемого числа «k» модуляционных зон необходимо $n = 2k - 1$. Релейные элементы имеют симметричную относительно нулевого уровня неинвертирующую петлю гистерезиса и пороги переключения, удовлетворяющие условию $|\pm b_1| < |\pm b_2| < \dots < |\pm b_n|$, где индекс при «b» соответствует порядковому номеру РЭ.

Выходной сигнал всех релейных элементов меняется дискретно в пределах $\pm A/n$. В дальнейшем ограничимся случаем $n = 3$.

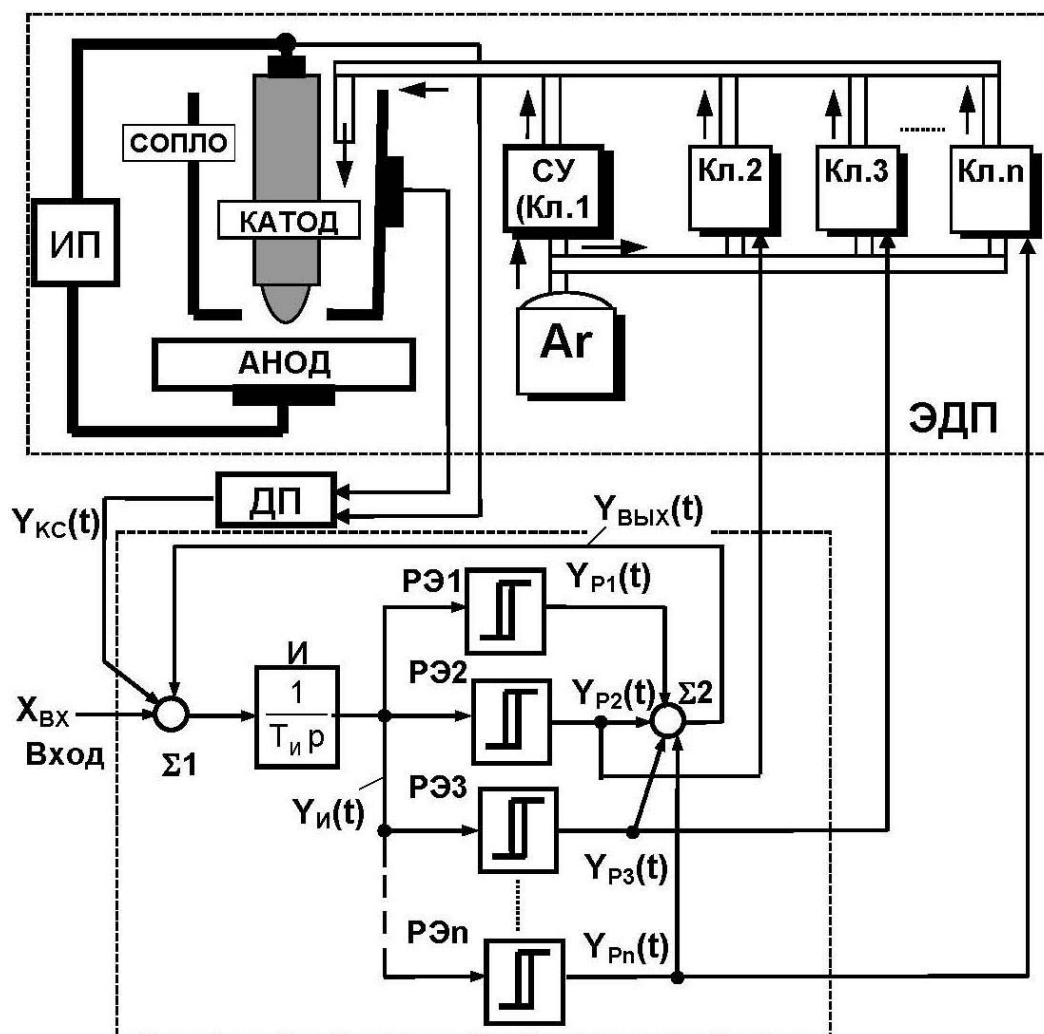


Рис. 1. Структурная схема электродугового плазмотрона с многозонной системой газодинамического предупреждения процесса двойного дугообразования

При включении МРП и нулевом входном сигнале $X_{ВХ}$ релейные элементы устанавливаются произвольным образом, например, в состояние $+A/3$ (рис. 2 в-д). Под действием сигнала развертки $Y_{и}(t)$ с выхода И (рис. 2 б) происходит последовательное переключение в положение $-A/3$ РЭ1, РЭ2 (рис. 2 в, г, моменты времени t_{01}, t_{02}), после чего меняется направление развертывающего преобразования, и сигнал $Y_{и}(t)$ нарастает в положительном направлении. Начиная с момента времени выполнения условия $Y_{и}(t) = b_1$ МРП входит в режим устойчивых автоколебаний, когда амплитуда сигнала развертки $Y_{и}(t)$ ограничена зоной неоднозначности РЭ1 (рис. 2 в), а РЭ2, РЭ3 находятся в статических и противоположных по знаку выходных сигналов $Y_{Р2}(t), Y_{Р3}(t)$ состояниях (рис. 2 г, д).

Выходная координата $Y_{ВЫХ}(t)$ МРП формируется за счет переключений РЭ1 (рис. 2 в) в первой модуляционной зоне, ограниченной пределами $\pm A/3$ (рис. 2 е). При отсутствии $X_{ВХ}$ (рис. 2 а, $t < t_0$) среднее значение Y_0 импульсов $Y_{ВЫХ}(t)$ равно нулю. Наличие входной координаты $X_{ВХ} < (A/3)$ (рис. 2 а, $t_0 < t < t_0^*$) влечет за собой изменение частоты и скважности импульсов $Y_{ВЫХ}(t)$, т.к. в интервале t_1 (рис. 2 в) развертка $Y_{и}(t)$ (рис. 2 б) изменяется под действием разности сигналов, подавае-

мых на сумматор $\Sigma 1$ (рис. 2 а, е), а в интервале t_2 - $dY_{\text{и}}(t)/dt$ зависит от суммы этих воздействий. В результате $Y_0 \equiv X_{\text{ВХ}}$ (рис. 2 е).

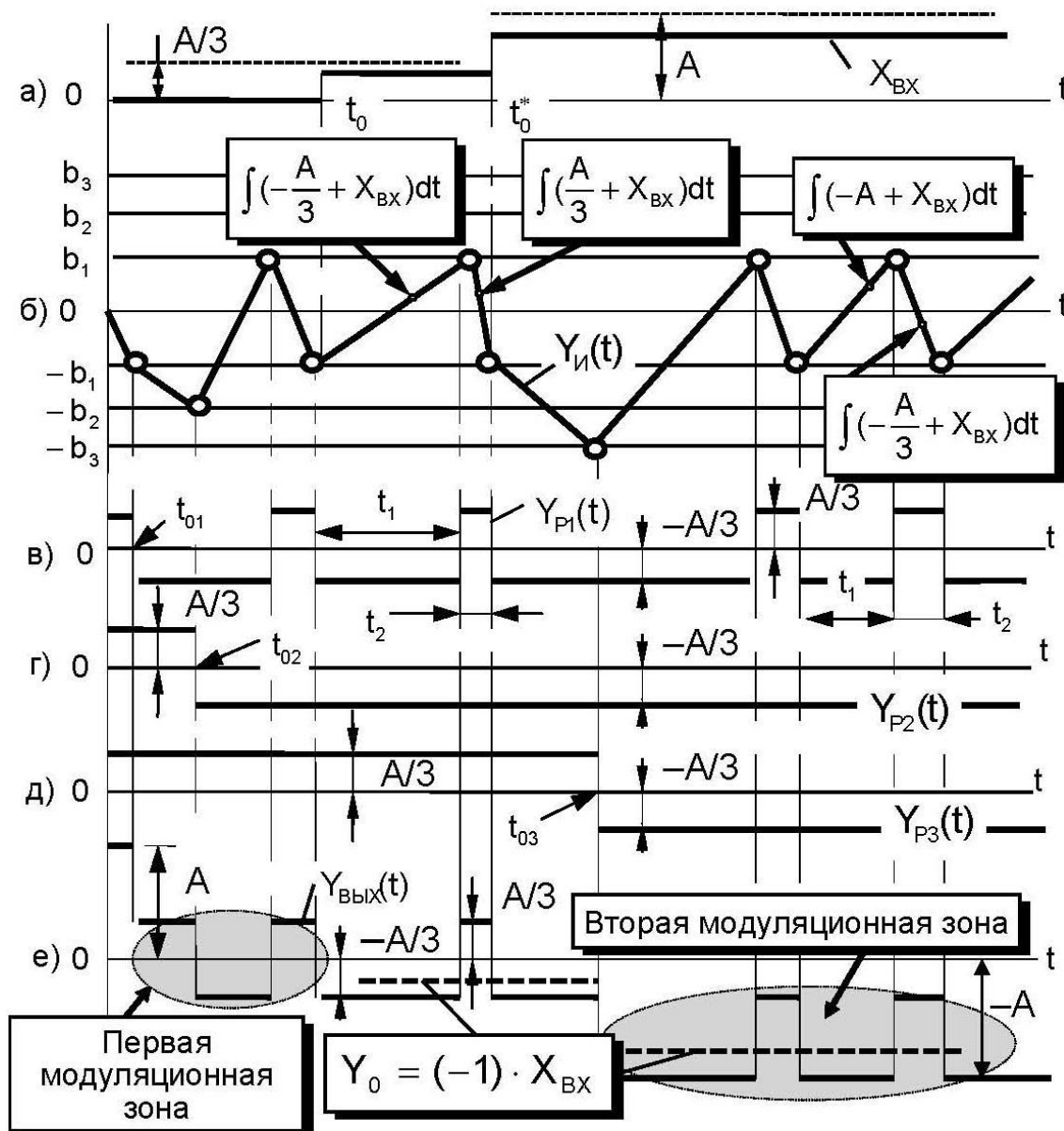


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов многозонного интегрирующего развертывающего преобразователя

Предположим, что в момент времени t_0^* сигнал $X_{\text{ВХ}}$ увеличился дискретно до величины $(A/3) < X_{\text{ВХ}} < A$ (рис. 2 а). Это нарушает условия существования режима автоколебаний в первой модуляционной зоне, и МРП переходит на этап переориентации состояний РЭ2, РЭ3, который заканчивается в момент времени t_{03} , когда РЭ3 переключается в положение $-A/3$ (рис. 2 д). Координата $Y_{\text{ВЫХ}}(t)$ достигает уровня $-A$ (рис. 2 е), и МРП переходит во вторую модуляционную зону, где в интервалах t_1 , t_2 (рис. 2 в) скорость формирования развертывающей функции $Y_{\text{и}}(t)$ (рис. 2 б) также определяется разностью или суммой сигналов, воздействующих на сумматор $\Sigma 1$. При этом сигнал Y_0 включает постоянную составляющую $-A/3$ и среднее значение импульсного потока $Y_{\text{ВЫХ}}(t)$ второй модуляционной зоны МРП.

В схеме ЭДП (рис. 1) контур регулирования на основе МРП функционирует следующим образом. При отсутствии шунтирующей дуги на переходе «катод - сопло» выходной сигнал ДП $Y_{KC}(t) \approx 0$, т.к. сопротивление R_{KC} достаточно велико. Сигналом задания X_{BX} положительной полярности МРП переводится в старшую модуляционную зону, где РЭ2 - РЭn находятся в идентичных состояниях – А/п, и клапаны Кл.2 - Кл.n закрыты. По мере уменьшения сопротивления R_{KC} , когда вероятность образования шунтирующей дуги возрастает, сигнал $Y_{KC}(t)$ отрицательной полярности на выходе ДП увеличивается, и МРП последовательно переходит из старшей модуляционной зоны четвертого квадранта статической характеристики $Y_0 = f(X_{BX}, Y_{KC})$ в старшую модуляционную зону второго квадранта этой характеристики. Подобный переход сопровождается переориентацией РЭ2 - РЭn в состояние А/п, что вызывает включение соответствующего числа клапанов Кл.2 - Кл.n и пропорциональное увеличение потока аргона на выходе газомангистры. После восстановления сопротивления R_{KC} МРП возвращается в исходное состояние, и клапаны закрываются выходными сигналами – А/п РЭ2, РЭn.

Учитывая, что МРП является замкнутой интегрирующей системой, его применение в условиях высокого уровня электромагнитных помех, сопровождающих работу ЭДП, позволяет существенно повысить помехоустойчивость процесса регулирования потока плазмообразующего газа и газодинамического предупреждения эффекта двойного дугообразования в ЭДП.

Список использованных источников

1. Аньшаков А.С., Домаров П.В. Исследование энергетических характеристик в электродуговом плазматроне с выходным ступенчатым электродом / Научный вестник Новосибирского государственного технического университета, 2013, № 4. С. 139-143.
2. Исакаев Э.Х., Синкевич О.А. Шунтирование тока и вызванные им изменения напряжения в канале плазмотронов с самоустанавливающейся длиной электрической дуги / Теплофизика высоких температур, 2003, Т.41, №3. С. 334-341.
3. Nakajo T., Ohyama R. An experimental study on plasma characteristics of a capillary atmospheric pressure plasma device using argon/air mixture gas stream. Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP). Annual Report Conference, 2012, pp. 149 – 152.
4. Темников Ф.Е. Теория разветвляющихся систем. - М: Госэнергоиздат, 1963.
5. Tsytoich L.I. and Brylina O.G. Pulse-Width and Pulse-Frequency-Width Sweeping Converters for Potential Separation of DC Circuits / Automatic Control and Computer Sciences, © Allerton Press, Inc., 2015, Vol. 49, No. 5, pp. 293-302.
6. Боровской А.М. Моделирование течения плазмообразующего газа с учетом его взаимодействия с электрической дугой в каналах высоковольтных плазмотронов переменного тока / Успехи прикладной физики, 2014, Т.2, №2. С. 105-111.
7. Корсунов К.А. Расчет параметров электродуговой плазмы в канале плазмотрона / Успехи прикладной физики, 2013, Т.1, №6. С. 724-732.
8. Цытович Л.И., Брылина О.Г. О динамике многозонного интегрирующего регулятора с частотно-нулевым сопряжением модуляционных зон / Электротехника, 2014, №7. С.17-25.
9. Брылина О.Г. Влияние закона широтно- и частотно-широотно-импульсной модуляции на уровень пульсаций выходного сигнала апериодического звена первого порядка / Электротехника, 2014, №10. С.18-23.